9Я

УДК 63.04

В.А. Ященко
Институт проблем математических машин и систем НАН Украины, г. Киев
vitaliy.yashchenko@gmail.com

Некоторые аспекты «нервной деятельности» интеллектуальных систем и роботов

В статье рассматриваются некоторые аспекты «нервной деятельности» интеллектуальных систем и роботов, построенных на базе многомерных рецепторно-эффекторных нейроподобных растущих сетей. Показана возможность разработки высокоинтеллектуальных систем и роботов, способных на базе безусловных рефлексов, заложенных в систему при ее разработке, и условных рефлексов, приобретаемых в процессе ее функционирования, обучаться, приобретать знания, анализировать и использовать их при синтезе новых знаний.

Введение

Современные представления физиологов о работе мозга базируются на работах И.М. Сеченова и И.П. Павлова. В результате своих исследований И.М. Сеченов пришел к заключению, что в основе формирования психической деятельности лежит принцип рефлекса. В работах он показал, как врожденные (безусловные) рефлексы с возрастом усложняются, вступают в разнообразные связи друг с другом и создают всю сложность человеческого поведения. Он писал, что все акты сознательной и бессознательной жизни по способу происхождения суть рефлексы. Далее он отмечал, что непосредственным началом рефлекса является чувственное возбуждение, вызываемое извне, а концом – движение, однако физиология должна изучать и середину рефлекторного акта, т.е. «психический элемент в тесном смысле слова», который очень часто, если не всегда, оказывается, по существу, не самостоятельным явлением, а интегральной частью всего процесса в целом, развивающегося в мозгу по принципу ассоциации. Развивая понятие ассоциации в чисто физиологическом смысле как связь между рефлексами, И.М. Сеченов указывал, что процесс ассоциирования «представляет обыкновенно последовательный ряд рефлексов, в котором конец каждого предыдущего сливается с началом последующего во времени» [1, с. 125]. Цепь таких рефлексов обуславливается тем, что любая реакция организма на раздражения является, в свою очередь, источником новых раздражений, воздействующих на те или иные рефлекторные аппараты мозга и побуждающих их к ответной деятельности [2, с. 399].

И.П. Павлов, развивая учение И.М. Сеченова, открыл совершенно особый класс проявлений работы головного мозга – условные рефлексы. В этих рефлексах закрепляется и реализуется индивидуальный опыт высших живых существ от элементарных поведенческих актов до грандиозной системы специально человеческих речевых сигналов.

Условные рефлексы составляют физиологическую основу индивидуальной памяти человека. В основе обучения человека лежит выработка и накопление большего или меньшего количества условных рефлексов. По И.П. Павлову, обучение, мысль, мышление, знание – процесс образования временных связей (условных рефлексов), а

пользование ими – понимание. Он полагал, что физиологическая сущность понимания – это не что иное, как использование ранее сформированных временных связей, ассоциаций. Усвоенные человеком знания становятся частью его поведения и определяют характер и поступки человека, его жизнь в обществе. Нервная система сохраняет знания, приобретенные в результате индивидуального опыта, и, кроме того, использует безусловные рефлексы, являющиеся врожденными [2].

И.П. Павлов создал рефлекторную теорию, опирающуюся на следующие принципы:

– принцип детерминизма (принцип причинности), согласно которому любая рефлекторная реакция причинно обусловлена;

– принцип структурности, суть которого заключается в том, что каждая рефлекторная реакция осуществляется с помощью определенных структур, и чем больше структурных элементов участвует в осуществлении этой реакции, тем она совершеннее;

– принцип единства процессов анализа и синтеза в составе рефлекторной реакции: нервная система анализирует (различает) с помощью рецепторов все действующие внешние и внутренние раздражители и на основании этого анализа формирует целостную ответную реакцию (синтез).

Таким образом, по И.П. Павлову обучение, мышление, приобретение знаний, формирование навыков и поведения человека обусловлены процессом образования условных рефлексов, а пользование ими – понимание.

Следовательно, для создания интеллектуальных систем и роботов, способных обучаться, приобретать знания, мыслить, приобретать навыки и вырабатывать линию поведения необходимо создать такую структуру из искусственных нейронов, в которой возможен процесс образования временных связей (безусловных и условных рефлексов) и будет соблюдаться принцип единства процессов анализа и синтеза в составе рефлекторной реакции.

Целью данной работы является рассмотрение некоторых вопросов «нервной деятельности» интеллектуальных систем и роботов, разработанных на базе нового типа нейронных сетей – растущих нейроподобных сетей.

Многомерные рецепторно-эффекторные нейроподобные растущие сети

Многомерные рецепторно-эффекторные нейроподобные растущие сети (мрэн-РС) представляют собой структуру, в которой возможен процесс образования безусловных и условных рефлексов и соблюдается принцип единства процессов анализа и синтеза в составе рефлекторной реакции.

Нейроподобной растущей сетью *(н-РС) называется совокупность взаимосвязанных нейроподобных элементов, предназначенных для приема и преобразования информации в процессе взаимодействия с объектами реального мира, причем в процессе приема информации сеть изменяет свою структуру, увеличивается в размерах – растет.*

Мрэн-РС – распараллеленная динамическая система с топологией направленного графа, которая выполняет переработку информации посредством изменения своего состояния и структуры в ответ на воздействия внешней среды.

Многомерная рецепторно-эффекторная нейроподобная растущая сеть представляется графом (рис. 1).

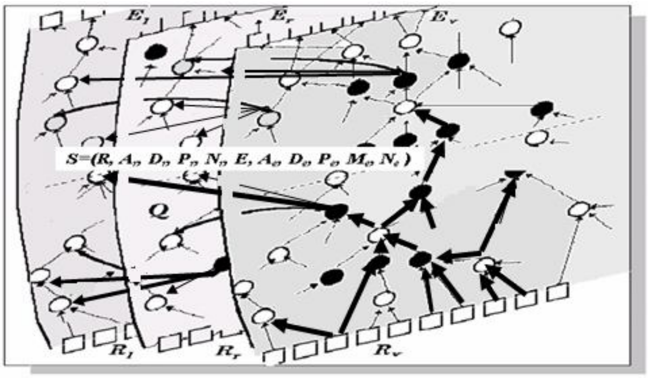


Рисунок 1 – Многомерная рецепторно-эффекторная нейроподобная растущая сеть

Формально мрэн-РС задаются следующим образом.

$$S = (R, A_r, D_r, P_r, M_r, N_r, E, A_e, D_e, P_e, M_e, N_e);$$

$$R \supset Rv, Rs, Rt;\ A_r \supset Av, As, At;\ D_r \supset Dv, Ds, Dt;\ P_r \supset Pv, Ps, Pt;\ M_r \supset Mv, Ms, Mt;$$

$$N_r \supset Nv, Ns, Nt;\ E \supset Er, Ed, Ed;\ A_e \supset Ar, Ad1, Ad2;\ D_e \supset Dr, Dd1, Dd2;$$

$$P_e \supset Pr, Pd1, Pd2;\ M_e \supset Mr, Md1, Md2;\ N_e \supset Nr, Nd1, Nd2;$$

здесь ***Rv, Rs, Rt*** – конечное подмножество рецепторов, ***Av, As, At*** – конечное подмножество нейроподобных элементов, ***Dv, Ds, Dt*** – конечное подмножество дуг, ***Pv, Ps, Pt*** – конечное множество порогов возбуждения нейроподобных элементов рецепторной зоны, принадлежащих, например, визуальному, слуховому, тактильному информационным пространствам, ***Er, Ed1, Ed2*** – конечное подмножество эффекторов, ***Ar, Ad1, Ad2*** – конечное подмножество нейроподобных элементов, ***Dr, Dd1, Dd2*** – конечное подмножество дуг эффекторной зоны, ***Pr, Pd1, Pd2*** – конечное множество порогов возбуждения нейроподобных элементов эффекторной зоны, принадлежащих, например, речевому информационному пространству и пространству действий. ***Mv, Ms, Mt; Mr, Md1, Md2*** – конечное подмножество весовых коэффициентов дуг или нумерации дуг (для сетей с упорядоченным набором признаков), заходящих на нейроподобные элементы рецепторной и эффекторной зон. ***N*** – конечное множество переменных коэффициентов связности рецепторной и эффекторной зон [3-5].

Для описания объектов, у которых определено отношение порядка, упорядоченность признаков, описывающих понятия, объекты и пр. отображается в сети нумерацией заходящих дуг на нейроподобный элемент, соответствующий данному понятию или объекту.

Мрэн-растущие сети являются многоуровневыми.

Рассмотрим фрагмент мрэн-РС, соответствующий следующим описаниям: Сократ человек; Марат человек.

Фрагмент мрэн-РС, показанный на рис. 2, является трехуровневым. Первый уровень – уровень символов, второй уровень – уровень слов, третий уровень – уровень предложений, далее может быть четвертый уровень – уровень фраз и т.д. В эффекторной зоне показаны командные нейроны (КН), активирующие цепочку команд (рефлекторных реакций) и мотонейроны (МН), определяющие моторную программу (программу действий). Для простоты восприятия здесь показано, что сеть обучена двум описаниям, состоящим из трех понятий Сократ, Марат и человек. При поступлении на рецепторы сети вопроса (условного раздражителя) «Кто Сократ» в рецепторной зоне (зоне анализа) возбуждается ассоциативный нейроподобный элемент (детектор распознавания понятия «Сократ»). Возбуждение передается на детектор «Сократ человек», затем переходит в эффекторную зону (зону синтеза) и возбуждает командные нейроны и мотонейроны, которые активируют программу действия – последовательность сигналов, адекватных искомому ответу.

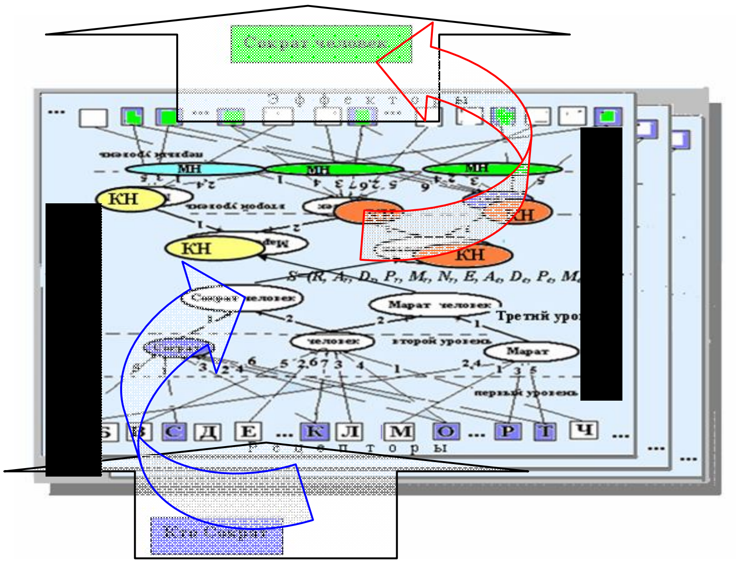


Рисунок 2 – Фрагмент мрэн-РС, соответствующий описаниям:
Сократ человек; Марат человек.

Рефлексы

Безусловные рефлексы генетически заданы и жестко подогнаны под определенные, соответствующие данному виду экологические условия. И.П. Павлов придавал большое значение безусловным рефлексам как составляющим фундамент высшей нервной деятельности.

Условные рефлексы составляют определенный фонд «знаний», индивидуального опыта животных и человека. Они формируются (накапливаются) при определенных условиях индивидуальной жизни организма и исчезают при отсутствии соответствующих условий, отличаясь тем самым от врожденных форм приспособления [2]. Кроме того, условные рефлексы составляют физиологическую основу обучения.

Обучение нейроподобной растущей сети

Безусловные и условные рефлексы успешно моделируются на мрэн-РС в матричном представлении. Матрица формируется в соответствии с операциями (1) – (27), описанными в работе Шевченко А.И., Ященко В.А. «От искусственного интеллекта к искусственной личности» [6].

Безусловные рефлексы интеллектуальной системы или робота задаются в мрэн-РС при ее разработке с учетом условий их функционирования в среде пользователя.

Условные рефлексы интеллектуальной системы или робота формируются в процессе их функционирования в среде пользователя.

Понятно, что разработчики таких систем и роботов могут предварительно настраивать (обучать) их под потребности пользователя, т.е. задавать безусловные и условные рефлексы системы или робота в процессе их создания. Это позволит быстро наполнить такие системы знаниями, доступными человечеству на современном этапе.

Мы разработали первую версию модели интеллектуальной системы «Texter I» (рис. 3), которую обучили знаниям о человеке, курсе доллара, курсе евро, о войне в Ираке, об Иране, о компьютере, о Земле, Солнечной системе и пр.

Знания о Человеке, Земле, Солнечной системе:

2 миллиона лет тому назад появилось человекообразное Существо;

40 тысяч лет тому назад появился современный Человек;

Сократ Человек;
Платон Человек;
Человек смертен;
5 миллиардов лет тому назад образовалась Солнечная система;
3 миллиарда лет тому назад Земле появилась Жизнь;
10 тысяч лет первым Цивилизациям;
2 тысячи лет Христианству;
200 лет со дня рождения А. Пушкина;
50 лет Компьютеру;
5 лет Интернет.

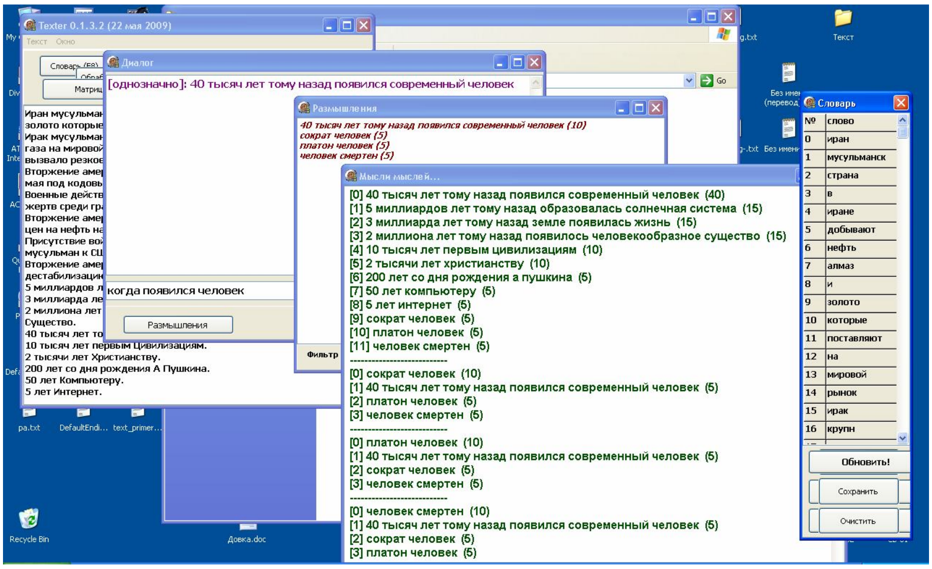


Рисунок 3 – Модель интеллектуальной системы «Texter I»

На вопрос «*Когда появился человек*?» система отвечает: «*40 тысяч лет тому назад появился современный Человек*», при этом, размышляя о данном вопросе, она отмечает, что *Сократ Человек, Платон Человек и Человек смертен.* На основе размышлений возникают ассоциации:

5 миллиардов лет тому назад образовалась Солнечная система;
3 миллиарда лет тому назад Земле появилась Жизнь;
2 миллиона лет тому назад появилось человекообразное Существо;
40 тысяч лет тому назад появился современный Человек;
10 тысяч лет первым Цивилизациям;
2 тысячи лет Христианству;
200 лет со дня рождения А. Пушкина;
50 лет Компьютеру;
5 лет Интернет;
Сократ Человек;
Платон Человек;
Человек смертен.

Ответ системы, размышления и ассоциации размышлений вызваны возбуждением ансамблей нейронов, содержащих эти знания. Уровень возбуждения ансамблей нейронов разный. Самый сильный уровень возбуждения – это ответ, размышления – уровень ниже и ассоциации размышлений – еще ниже.

В начале этих исследований нас смутило такое обилие возбужденных ансамблей нейронов в ответ на заданный вопрос, т.е. возбуждение трех сенсорных нейронов распространилось на несколько десятков. Но оказывается, что мозг человека ведет себя практически аналогичным образом.

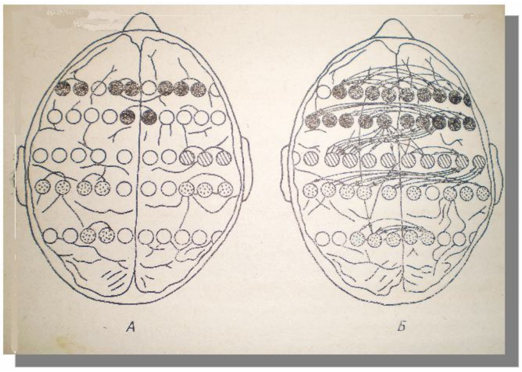


Рисунок 4 – Временная корреляция биопотенциалов точек коры головного мозга человека в процессе умственной деятельности (по М.Н. Ливанову, Т.П. Хризман, 1976)

Физиологи называют это явление иррадиацией и утверждают, что движение нервных процессов зависит от их силы: «…Как правило, иррадиация (распространение) нервных процессов проявляется при слабой интенсивности возбуждения и торможения, т.е. на стадии слабых, неупроченных временных связей. При достаточной силе нервных процессов они концентрируются, а при чрезмерной силе вновь начинается процесс иррадиации» [2].

На рис. 4 показана временная корреляция биопотенциалов точек головного мозга человека в процессе умственной деятельности: А – состояние покоя, Б – через 15 с от начала решения задачи (кружками обозначены электроды, заштрихованные кружки точки корреляции).

Исследование дистантной синхронизации на животных проведено на модели выработки условного рефлекса. Было показано, что в период генерализации условного рефлекса наблюдается синхронизация биоэлектрической активности во многих участках коры и подкорковых образованиях [2].

Рассмотрим формирование нейроподобной растущей сети на примере обучения счету интеллектуальной системы, созданной на базе мрэн-РС. На рис. 5 показан фрагмент необученной мрэн-РС, состоящей из рецепторов и нейронов. На рис. 6 фрагмент сети, обученной цифрам от 0 до 10. Сеть сформировалась при предъявлении на рецепторное поле образов цифр на основе «безусловного рефлекса – восприятие», созданного при разработке интеллектуальной системы. При предъявлении на рецепторное поле арифметического действия 1+2=3 (предъявлении последовательно образов 1, +, 2, =, 3) в сети возникают связи между нейронами, соответствующими образам 1, +, 2, =, 3, нейроны возбуждаются, вырабатывается условный рефлекс на распознавание арифметического действия сложения цифр 1 и 2 (рис.7). Сеть приобретает знание – 1+2=3. Аналогично сеть приобретает знание 1+3=4, 2+3=5 (рис. 8, 9). Теперь, если на вход системы (на рецепторное поле) поступит запрос, чему равно 1+2, то возбудятся сенсорные нейроны, соответствующие образам 1, +, 2. Возбуждение передается нейрону, содержащему ответ 1+2=3.

А если на вход системы поступит запрос, чему равно 112+233 = ? Нейрона с ответом на этот запрос нет, но система обладает знанием сложения чисел 2+3, 1+3, 1+2. Значит, систему необходимо обучить выполнению последовательности действий для вычисления суммы чисел 112 и 233. Если система обладает «зрением», то мы показываем системе последовательность действий, если система еще и обладает «слухом», то показ действий может сопровождаться словами. Тогда образуется нейросеть, состоящая из двух измерений – визуального и звукового.

Последовательность действий: первое – 2+3, подать на вход, получить ответ 5, записать первым числом справа; второе – 1+3, подать на вход, получить ответ 4, записать вторым числом справа; третье – 1+1, подать на вход, получить ответ 2, записать третьим числом справа. Получим ответ 345. При этом в нейросети системы формируется нейрон действия, в котором фиксируются связи, активированные при выполнении указанных действий. Если ансамбли нейронов, соответствующие цифрам 112, 233 и выражению 112+233=345, в течение некоторого времени снова не возбуждаются, то информация исчезает – временная память. Если в течение некоторого времени этот пример повторять, то связи и возбуждение нейронов усилятся, инфор-

мация закрепится, образуется долговременная память и система на этот вопрос будет выдавать ответ сразу без вычислений, так как в сети существует ансамбль нейронов, который фиксирует ответ. Теперь, если спросить систему, сколько будет, например, 32+21, в нейросети системы возбудятся соответствующие ансамбли нейронов и в соответствии с последовательностью действий, которые зафиксированы в нейроне действий, система выдаст ответ 53. Фрагмент мрэн-РС вычисления суммы двух чисел показан на рис. 10.

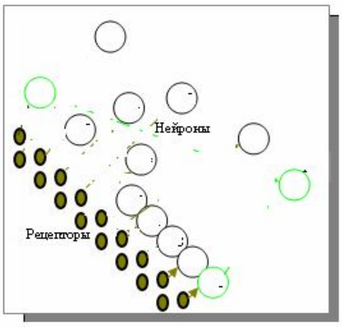


Рисунок 5 – Фрагмент необученной мрэн-РС

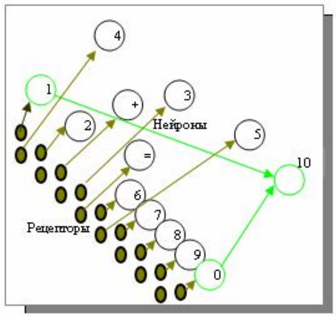


Рисунок 6 – Фрагмент мрэн-РС, обученной цифрам

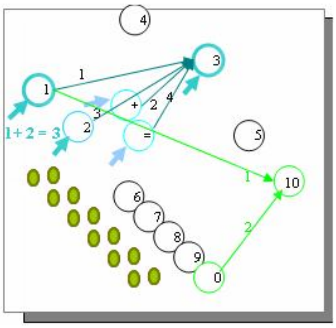


Рисунок 7 – Фрагмент мрэн-РС, обученной арифметическому действию 1+2=3

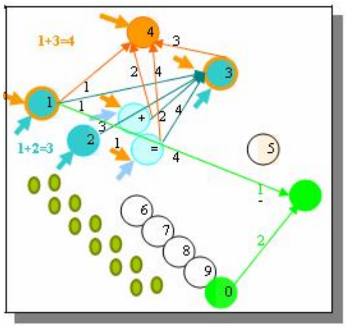


Рисунок 8 – Фрагмент мрэн-РС, обученной арифметическому действию 1+2=3, 1+3=4

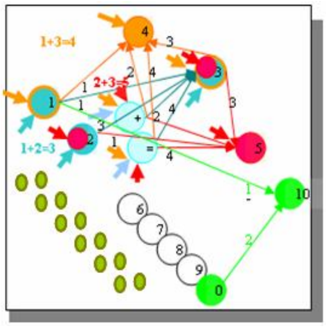


Рисунок 9 – Фрагмент мрэн-РС, обученной арифметическому действию 1+2=3, 1+3=4, 2+3=5

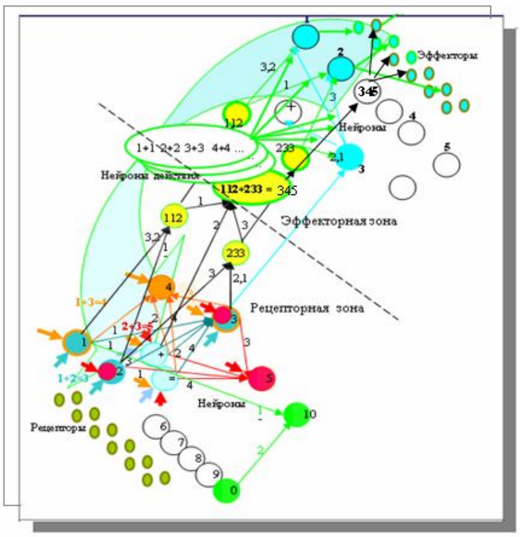


Рисунок 10 – Фрагмент мрэн-РС вычисления суммы двух чисел

Из вышеизложенного видно, что вероятность создания в структуре мрэн-РС механизмов формирования условных и безусловных рефлексов дает возможность разрабатывать высокоинтеллектуальные системы, способные обучаться, накапливать знания и уметь их использовать.

Выводы

В работе рассмотрены некоторые аспекты «нервной деятельности» интеллектуальных систем и роботов, построенных на базе многомерных рецепторно-эффекторных нейроподобных растущих сетей.

Открытие И.П. Павловым принципа условнорефлекторной связи – условного рефлекса, основного и наиболее характерного вида деятельности головного мозга, на котором в конечном итоге строится высшая нервная деятельность и почти все поведенческие акты высокоорганизованного организма, позволило физиологам исследовать и получить более полное представление о работе мозга. А исследования механизмов организации условных и безусловных рефлексов в структуре мрэн-РС дает предпосылки для создания интеллектуальных систем и роботов с функциональными возможностями, близкими к высокоорганизованным организмам.

Литература

1. Сеченов И.М. Рефлексы головного мозга / Сеченов И.М. – М., 1961.
2. Данилова Н.Н. Физиология высшей нервной деятельности / Н.Н. Данилова, А.Л. Крылова. – М. : Изд-во МГУ, 1989.
3. Ященко В.А. Рецепторно-эффекторные нейроподобные растущие сети – эффективное средство моделирования интеллекта. I / В.А. Ященко // Кибернетика и сист. анализ. – 1995. – № 4. – С. 54-62.
4. Ященко В.А. Рецепторно-эффекторные нейроподобные растущие сети – эффективное средство моделирования интеллекта. II / В.А. Ященко // Кибернетика и сист. анализ. – 1995. – № 5. – С. 94-102.
5. YashchenkoV.A. Receptor-effector neural-like growing network – an efficient tool for building intelligence systems / V.A. Yashchenko // Proceedings of the second internatiional conference on information fusion, (July 6-8, 1999, Sunnyvale Hilton Inn, Sunnyvale). – California, USA. – Vol. II. – P. 1113-1118.
6. Шевченко А.И. От искусственного интеллекта к искусственной личности / А.И. Шевченко, В.А. Ященко // Искусственный интеллект. – 2009. – № 3. – С. 492-505.

В.О. Ященко

Деякі аспекти «нервової діяльності» інтелектуальних систем і роботів
У статті розглядаються деякі аспекти «нервової діяльності» інтелектуальних систем і роботів, побудованих на базі багатовимірних рецепторно-ефекторних нейроподібних зростаючих мереж. Показана можливість розробки високоінтелектуальних систем і роботів, здатних на базі безумовних рефлексів, закладених в систему при її розробці, і умовних рефлексів, набуваних у процесі її функціонування, навчатися, набувати знання, аналізувати і використовувати їх під час синтезу нових знань.

V.A. Yashchenko

Some Aspects of “Nervous Activity” of Intellectual Systems and Robots
In the article some aspects of “nervous activity” of intellectual systems and robots constructed on the base receptor-effector of neural-like growing networks are considered. The possibility of development of high-intelligent of systems and robots based on the unconditioned reflexes, incorporated in the system under its development and conditioned reflexes acquired in its functioning to be trained, to gain such knowledge, to analyze and to use them in synthesis of new knowledge is shown.

Статья поступила в редакцию 21.04.2009.